

科尔沁沙地小叶锦鸡儿群落生长季土壤水分动态和蒸散量估算

王娟¹, 贺山峰^{2,3,4}, 邱兰兰^{3,4}, 蒋德明³, 阿拉木萨³

(1. 中国石油集团 安全环保技术研究院, 北京 100083; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 中国科学院 沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016; 4. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 以流动沙丘和不同恢复年限的人工和天然小叶锦鸡儿群落为研究对象, 从土壤水分平衡角度对小叶锦鸡儿群落生长季土壤水分动态和蒸散量进行了研究。结果表明, 与天然小叶锦鸡儿群落的土壤含水量相比, 人工小叶锦鸡儿群落内土壤含水量较低, 且呈现出随植被生长发育年限的增加而不断减少的趋势; 从土层垂直方向看, 流动沙丘土壤含水量较稳定, 6 年生和天然小叶锦鸡儿群落土壤含水量大致随深度的增加而逐渐增加, 但 11 年生和 22 年生小叶锦鸡儿群落土壤含水量基本呈下降趋势, 绝大多数土层含水量均低于 1.50%, 水分状况较差; 在生长季, 人工植被区绝大部分的降雨都通过蒸散丧失, 在时间分布上, 各样地蒸散量呈现单峰型曲线模式。

关键词: 小叶锦鸡儿; 土壤水分动态; 蒸散量; 科尔沁沙地

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0103-04

中图分类号: Q143

Soil Moisture Dynamics and Evapotranspiration of *Caragana Microphylla* Communities in Growing Season on Horqin Sandy Land

WANG Juan¹, HE Shan-feng^{2,3,4}, QIU Lan-lan^{3,4}, JIANG De-ming³, A La-mu-sa³

(1. CNPC Research Institute of Safety & Environment Technology, Beijing 100083, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, Liaoning 110016, China; 4. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Soil moisture dynamics and evapotranspiration of *Caragana microphylla* communities with different ages were studied based on the soil water balance theory. Results showed that compared with natural *C. microphylla* community, the soil moisture content of artificial vegetation was lower and continually decreased along with increase in age. The vertical change of soil moisture showed the tendency of increasing with soil depth in the 6-year-old and natural *C. microphylla* communities, while performed a reserved trend in the 11 and 22-year-old *C. microphylla* communities, and their soil moisture content in most layers were lower than 1.50%. Most precipitation lost through evapotranspiration during growing season and the temporal distribution of evapotranspiration had a single-peak curve.

Keywords: *Caragana microphylla*; soil moisture dynamics; evapotranspiration; Horqin Sandy Land

随着全球气候变暖, 土地沙漠化、水资源短缺已经成为全球极为严重的生态问题, 也是一个社会经济问题^[1-2]。在干旱、半干旱条件下, 水是影响环境变异的重要因子, 土壤水分含量是植物生存和生长的最大限制因子, 影响着人工固沙植被的稳定性, 并进而影响到遏制沙漠化的可能性^[3]。脆弱的自然环境和近代不合理的土地开发利用, 使科尔沁地区已成为我国北方农牧交错区土地荒漠化较为严重的地区之

一^[4-5]。恢复和重建已退化的生态系统, 维持人类生存环境的稳定和持续发展是现代生态学研究的重要课题^[6]。小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla* Lam.) 是豆科具刺灌木, 具有耐寒、抗旱、耐贫瘠和耐高温等特点, 因此在科尔沁沙地的人工植被恢复中被广泛采用。近年来的观察结果表明, 随着固沙植被年龄的增长, 人工固沙植被区下土壤水分条件日趋恶化。在生长季里, 根系分布层的土壤含水量降低, 某

收稿日期: 2009-03-01

修回日期: 2009-06-03

资助项目: 国家“十五”科技攻关项目“科尔沁沙地植被重建与调控技术研究与示范”(2005BA517A08)

作者简介: 王娟(1982—), 女(汉族), 天津市蓟县人, 助理工程师, 主要从事环境影响评价研究。E-mail: wangjuan2099@petrochina.com.cn。
通信作者: 贺山峰(1980—), 男(汉族), 山东省日照市人, 博士研究生, 主要从事生态恢复和自然灾害风险评估研究。E-mail: heshanfeng@163.com。

些植被区已经无法满足植被正常的生存生长需要,致使原有的固沙植物普遍衰退甚至死亡^[7]。本研究依据水分平衡理论,研究了不同年限小叶锦鸡儿群落生长季的土壤水分动态和蒸散量变化,并与流动沙丘进行对比,旨在从土壤水分平衡角度探讨沙地生态系统的恢复机理和沙漠化逆转的生物学过程,以期为提高沙地人工植被群落稳定性、恢复和重建退化生态系统提供理论依据和实践指导。

1 研究区概况

研究区位于科尔沁沙地西部的乌兰敖都地区。该区属于典型的半干旱风沙性气候,气候干燥,年均气温 6.2℃,年均降水量 340.5 mm,年蒸发量达 2 200 mm。风沙大且频繁,年均风速达 4.5 m/s,八级以上大风日数为 75.3 d。该区沙丘起伏,坳间相间,形成了广阔的沙地景观,主要生境类型可分为流动和半流动沙丘、固定沙丘、沙沼地、丘间低地和石质残丘。土壤类型主要有风沙土、草甸土和盐碱土。其原生植被属于森林向草原的过渡类型。原生植被已被破坏殆尽,目前植被表现出强烈的次生性,大部分已演变为沙生植被和草甸植被^[8]。区系分布上为蒙古植物区系、华北植物区系和长白植物区系的交接地带,其中分布最广、种类最多的是蒙古植物区系植物。

2 材料与方法

2.1 样地设置

分别在流动沙丘、不同栽植时间的(2000年、1995年和1984年)人工小叶锦鸡儿群落以及天然小叶锦鸡儿群落中选取样地。人工群落初植密度均为 1 m × 1 m,至 2006 年已经分别演变为 6、11 和 22 a 的成林,各样地基本情况详见表 1。

2.2 采样与分析方法

于 2006 年生长季(4 月至 10 月)每月 15 日左右使用时域反射仪(time domain reflectometry, TDR)对各样地土壤含水量(体积含水量)进行测定,3 次重复。测定深度为 0—200 cm,每 10 cm 一层,共 20 层。为降低土壤空间变异性对土壤含水量的影响,每次取样控制在距离小叶锦鸡儿根颈 0.5 m 处;如果临近 15 d 有降水发生,我们选择在降水后 3 d 进行测定,以避免降水对土壤含水量的影响。

科尔沁沙地西部人工固沙植被区土壤水分主要受降水影响,当地降雨强度较低,沙土渗水率大,地表无径流产生,植被根系区土壤亦不受地下水的影响(地下水位埋深 > 6 m),故水分平衡公式可简化为:

$$G = P - \Delta W + \Delta Q \quad (1)$$

式中: G ——蒸散量(mm); P ——测定期间降水量(mm); ΔQ ——地表下 200 cm 处水分渗漏或补充

(mm)(因沙丘植被区地下水位低,土壤无渗漏和补充,故此处 $\Delta Q = 0$); ΔW ——某一时段土壤贮水量变化(mm), $\Delta W = E_{t1} - E_{t2}$ 。

$$E = 10 \times \sum R_i H_i \quad (2)$$

式中: E ——土壤贮水量(mm),是指底面积为 1 cm²,高为土层深度的土柱内水的体积; R_i ——第 i 层的土壤体积含水量(ml/ml); H_i ——第 i 层的土层厚度(cm)。

3 结果与分析

3.1 各样地土壤含水量比较

分别将 4—10 月份各样地土壤含水量进行平均,得到流动沙丘和各小叶锦鸡儿群落 0—200 cm 深度的平均土壤含水量(图 1)。在各样地中,平均土壤含水量最大的是天然小叶锦鸡儿群落,达到 4.69%,其次是流动沙丘,为 3.97%,最少的是 22 年生小叶锦鸡儿群落,仅为 0.87%。可见,流动沙丘上建立人工植被后,随着植被的不断演化发展,林地土壤含水量不断减小,水分条件日趋恶化。各样地土壤含水量随时间的变化趋势基本一致(图 2),各样地土壤含水量均在 6 月份达到最大值。通过查阅气象站资料可知,这与降雨量的月际变化有一定关系。6 年生和天然小叶锦鸡儿群落土壤含水量月际变化较大,而流动沙丘、11 年生和 22 年生小叶锦鸡儿群落土壤含水量月际变化相对比较稳定,流动沙丘大体保持在 3%~5%之间,而 11 年生和 22 年生小叶锦鸡儿群落土壤含水量较低,基本在 0.5%~2%之间。

分别将 4—10 月份各样地同一深度的土壤含水量进行平均,得到流动沙丘和各小叶锦鸡儿群落不同深度的平均土壤含水量变化(图 3)。从图中可以看出,各样地平均土壤含水量随深度的变化趋势大不相同。流动沙丘除表层土壤含水量为 2.08%,其余各层均保持在 3.41%~5.06%之间,土壤含水量较为稳定,6 年生和天然小叶锦鸡儿群落土壤含水量大致随深度的增加而逐渐提高,以上 3 块样地土壤水分状况较好;而 11 年生和 22 年生小叶锦鸡儿群落则呈现相反趋势,各层土壤含水量较低,绝大多数土层均低于 1.50%,土壤水分状况较差。

3.2 各样地土壤贮水量比较

分别对 4—10 月份各样地土壤贮水量进行平均,得到流动沙丘和各小叶锦鸡儿群落 0—200 cm 深度土壤贮水量的平均值(图略)。流动沙丘及各小叶锦鸡儿群落生长季期间平均土壤贮水量在数值上差异很大,最高的天然小叶锦鸡儿群落达到 93.80 mm,其次是流动沙丘,为 79.49 mm,而最少的 22 年生小叶锦鸡儿群落仅为 17.38 mm。可以发现,随着固沙时间的延长,人工小叶锦鸡儿群落的土壤贮水量不断减少,土壤水分状况不断恶化。

表 1 样地基本情况

| 项 目 | 样地及编号 | | | | |
|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|---|
| | 流动沙丘 (A) | 6 年生小叶 锦鸡儿(B) | 11 年生小叶 锦鸡儿(C) | 22 年生小叶 锦鸡儿(D) | 天然小叶 锦鸡儿(E) |
| 地理坐标 | 42° 59′ 28″ N 119° 39′ 39″ E | 42° 59′ 29″ N 119° 39′ 37″ E | 42° 59′ 29″ N 119° 39′ 36″ E | 43° 00′ 06″ N 119° 38′ 26″ E | 43° 02′ 11″ N 119° 37′ 10″ E |
| 海拔高度/ m | 485.1 | 479.7 | 482.2 | 483.5 | 482.7 |
| 面积/ m ² | 10 000 | 600 | 900 | 10 000 | 10 000 |
| 植被总盖度 | < 5% | 50% | 70% | 85% | 75% |
| 小叶锦鸡儿密度/ (丛· hm ⁻²) | 0 | 6 438 | 7 625 | 4 792 | 2 875 |
| 小叶锦鸡儿平均 高度和冠幅/ cm | 0 | 81 99× 82 | 97 106× 96 | 109 100× 98 | 85 148× 128 |
| 小叶锦鸡儿根系 平均深度/ cm | 0 | 105 | 177 | 208 | 193 |
| 主要伴生物种 | 乌丹蒿, 沙蓬 | 差巴嘎蒿, 虫实, 狗尾草, 白前 | 差巴嘎蒿, 虫实, 狗尾草, 白前, 刺 沙蓬 | 黄柳, 差巴嘎蒿, 地锦, 虫实, 狗尾 草, 毛马唐, 绿珠 藜, 灰绿藜 | 兴安胡枝子, 虫 实, 狗尾草, 毛马 唐, 雾冰藜, 地锦, 黄蒿, 画眉草, 三 芒草 |

注: 表中植物的拉丁名分别为: 乌丹蒿(*Artemisia wudanica*), 沙蓬(*Agriophyllum arenarium*), 差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*), 虫实(*Corispermum candelabrum*), 狗尾草(*Setaria viridis*), 白前(*Cynanachum sihiricum*), 刺沙蓬(*Salsola ruhtenica*), 黄柳(*Salix flavida*), 地锦(*Euphorbia humifusa*), 毛马唐(*Digitaria ciliaris*), 绿珠藜(*Chenopodium acuminatum*), 灰绿藜(*Chenopodium glaucum*), 兴安胡枝子(*Lespedeza daurica*), 雾冰藜(*Bassia dasyphylla*), 黄蒿(*Artemisia csoparia*), 画眉草(*Eragrostis pilosa*), 三芒草(*Aristida adscenionis*)。

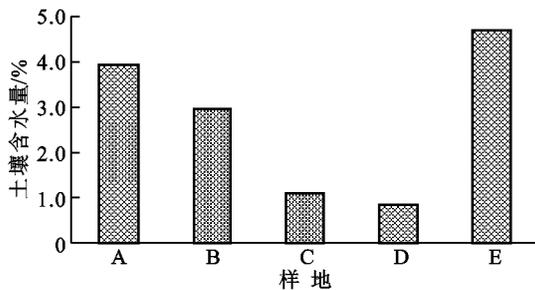


图 1 各样地平均土壤含水量

注: A 流动沙丘; B 6 年生小叶锦鸡儿; C 11 年生小叶锦鸡儿; D 22 年生小叶锦鸡儿; E 天然小叶锦鸡儿(下同)。

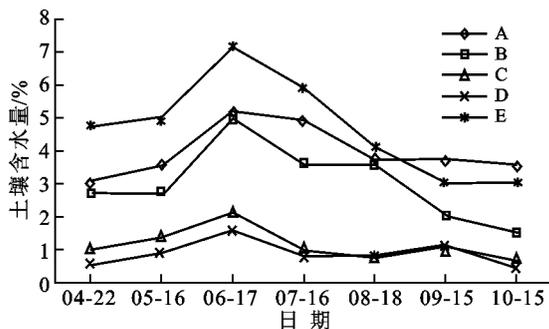


图 2 各样地 4—10 月平均土壤含水量变化(2006 年)

4—10 月份各样地土壤贮水量与平均贮水量趋势基本相同(图略)。土壤贮水量与月降水量之间存在一定的关联性, 各样地土壤贮水量总和在 6 月份达

到最大值, 为 418.73 mm, 此月降水量也最大, 达 115.60 mm; 此后, 随着降雨量的减少, 土壤贮水量也呈下降趋势, 到 10 月份最小, 为 183.03 mm。

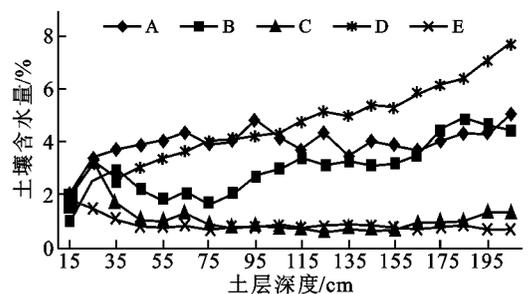


图 3 各样地平均土壤含水量的垂直变化

3.3 各样地蒸散量估算

科尔沁沙地西部地区的土壤水分平衡与调控主要受降水和地表蒸散量影响。沙地土壤水分的供给主要依靠降水, 地下水无法补充, 同时由于沙地土壤结构松散, 地表存在干沙层, 毛吸管作用力弱, 对沙地表面物理蒸发形成了一定的阻碍作用, 因此, 植被区土壤水分状况主要受地表植被蒸腾作用的影响。

不同样地总蒸散量分析表明(图 4), 在整个生长季节中, 各样地总蒸散量在 191.13~ 236.43 mm 之间, 以天然小叶锦鸡儿群落最高, 其次为 6 年生小叶锦鸡儿群落, 流动沙丘蒸散量最低。该地区 4—10 月

降水量为 228.3 mm, 因此在生长季, 人工植被区绝大部分的降雨量都通过蒸散作用丧失, 植被区土壤很难得到水分的补充; 而天然小叶锦鸡儿群落蒸散量更是比同期降水量高出 8.13 mm, 这说明非生长季的降水有一部分被用于这段时期的水分蒸散。

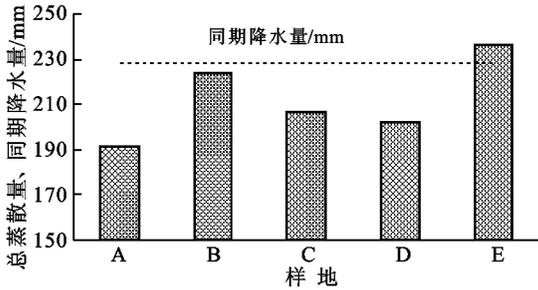


图 4 各样地 4—10 月份总蒸散量

植物蒸腾速率受到环境条件的影响, 温度、光照、土壤水分状况、空气湿度等因素都影响植物的蒸腾作用。从图 5 可以看出, 在时间分布上, 各样地蒸散量在生长季呈现单峰型曲线模式, 这主要是因为 5 月 16 日至 7 月 16 日期间随着温度升高, 降水增加, 植物生理活性提高, 植物的蒸腾作用也达到最大, 之后由于环境因素变化的影响, 各样地蒸散量也急剧下降。通过比较发现, 各样地蒸散量季节分布与同期降水量有一定相关关系, 这是由于降水影响了土壤水分状态, 而土壤水分状态变化又进一步影响植物的蒸腾和地面的蒸发作用。

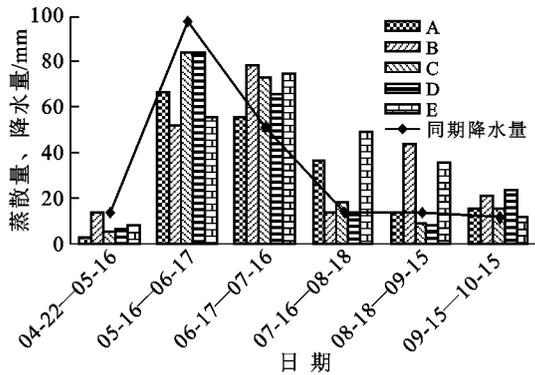


图 5 各样地 4—10 月份蒸散量变化

4 结论与讨论

(1) 流动沙丘上建立人工植被后, 随着恢复时间的延长, 土壤水分状况逐渐恶化。在生长季, 各小叶锦鸡儿群落土壤含水量随时间的变化趋势基本一致, 这与降水量的月变化有一定关系。

(2) 从垂直方向看, 流动沙丘土壤含水量较稳定, 6 年生和天然小叶锦鸡儿群落土壤含水量大致随深度的增加而逐渐提高, 而 11 年生和 22 年生小叶锦

鸡儿群落土壤含水量基本呈下降趋势, 绝大多数土层均低于 1.50%, 土壤水分状况较差。

(3) 天然小叶锦鸡儿群落总蒸散量最高, 其次为 6 年生小叶锦鸡儿群落, 流动沙丘最低。在生长季, 人工植被区绝大部分的降雨量都通过蒸散作用丧失, 在时间分布上, 受降水的影响, 各样地蒸散量在生长季呈现单峰型曲线模式。

半干旱区沙生植物耗水特点研究是沙地人工植被建设和管理的重要决定因素之一^[9-10]。流动沙丘通过建立人工植被固沙后, 植被对水分的利用直接影响到固沙植被区土壤水分的时空分布。天然小叶锦鸡儿群落内植株密度显著小于人工群落, 加之土壤理化性质好, 持水能力强, 故其土壤水分含量始终较高; 而人工植被区由于植株密度大, 蒸腾耗水量大, 土壤水分状况恶化已开始影响植物群落的生存状态, 尤其是在生长季末期。在 2006 年 9 月中旬的样地调查时发现, 22 年生小叶锦鸡儿群落内草本植物已经大面积死亡, 小叶锦鸡儿也有相当一部分枝叶枯黄, 而其它样地未发现这种情况。因此, 在干旱半干旱地区进行植被恢复时, 应根据植物的水分消耗特点来选择固沙物种的配置和适宜的密度, 这对建立稳定的人工固沙植被具有重要的理论和实践意义。

[参 考 文 献]

- [1] 朱震达. 土地荒漠化问题研究现状与展望[J]. 地理研究, 1994, 13(1): 3-8.
- [2] 冯起, 程国栋. 我国沙地水分分布状况及其意义[J]. 土壤学报, 1999, 36(5): 225-231.
- [3] Berndtsson R, Chen H. Variability of soil water content along a transect in a desert area [J]. Journal of Arid Environments, 1994, 27: 127-139.
- [4] 蒋德明, 刘志民, 曹成有, 等. 科尔沁沙地荒漠化过程与生态恢复[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003: 45-62.
- [5] 张华, 伏乾科, 李锋瑞, 等. 退化沙质草地自然恢复过程中土壤—植物系统的变化特征[J]. 水土保持通报, 2003, 23(6): 1-6.
- [6] 马世俊. 展望九十年代的生态学[M]// 马世俊. 现代生态学透视. 北京: 科学出版社, 1990: 1-4.
- [7] 阿拉木萨, 蒋德明, 范士香, 等. 人工小叶锦鸡儿灌丛土壤水分动态研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1537-1540.
- [8] 刘新民, 赵哈林, 赵爱芬. 科尔沁沙地风沙环境与植被[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [9] 朱永华, 仵彦卿. 干旱荒漠区植物骆驼刺的耗水规律[J]. 水土保持通报, 2003, 23(4): 43-46.
- [10] 贾海坤, 刘颖慧, 徐霞, 等. 皇甫川流域柠条林地水分动态模拟: 坡度、坡向、植被密度与土壤水分的关系[J]. 植物生态学报, 2005, 29(6): 910-917.